Journal of Agroecology
Homepage: http://agry.um.ac.ir

Research Article
Vol. 16, No. 4, 2025, p. 661-681

Evaluation of Yield, Yield Component and Usefulness Indices of Bean (*Phaseolus vulgaris*) and Maize (*Zea mays*) Intercropping under Inoculation with *Rhizobium phaseoli*

Ebrahim Zolfagari Kotbehsara[1], Peyman Sharifi[2*] and Mohammad Hossein Ansari[2]

1 and 2- Ph.D. Student and Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran, respectively.
(*- Corresponding author's Email: sharifi@iaurasht.ac.ir & peyman.sharifi@gmail.com)

Received: 06-02-2024 Revised: 05-04-2024 Accepted: 08-05-2024 Available Online: 22-01-2025	**How to cite this article:** Zolfagari Kotbehsara, E., Sharifi, P., & Ansari, M. H. (2025). Evaluation of yield, yield component and usefulness indices of bean (*Phaseolus vulgaris*) and maize (*Zea mays*) intercropping under inoculation with *Rhizobium phaseoli*. *Journal of Agroecology*, *16*(4), 661-681. (In Persian with English abstract) https://doi.org/10.22067/agry.2024.86727.1191

Introduction

Intercropping involves cultivating two or more crops together in the same field within a single cropping year. One common method to supply nitrogen to plants is through the use of chemical fertilizers containing nitrogen. However, excessive use of nitrogen fertilizers conflicts with the principles of sustainable agriculture. An alternative approach is to utilize microorganisms capable of nitrogen fixation, such as rhizobial bacteria and non-symbiotic bacteria (*Azospirillum*, *Herbaspirillum*, *Azotobacter*, etc.). The purpose of this study is to evaluate the usefulness of intercropping of Guilan bean (*Phaseolus vulgaris*) landrace and maize (*Zea mays*) under inoculation with Rhizobium *phaseoli*.

Materials and Methods

The present study was conducted in Talesh, Guilan province, as split plots based on the randomized complete block design with three replications. The main factor was the use of bacteria at two levels (inoculation and non-inoculation) and the split factor was the ratio of maize-bean intercropping in five levels (monoculture of maize and bean, 25% bean + 75% maize, 50% bean + 50% maize and 75% bean + 25% maize). Maize and bean seeds were planted simultaneously on May 22, 2022. Beans were harvested in late August, and maize was harvested in mid-September. Each gram of inoculant contained 10^7 bacterial cells. To inoculate with bacteria, the seeds were first coated with Arabic gum, and then 10 grams of inoculant was added per kilogram of seeds. Planting was done after half an hour and drying the inoculated seeds in the shade. After measuring seed yield at harvest, various indices were used to evaluate the effectiveness of intercropping, including the Land Equivalence Ratio (LER), Relative Crowding Coefficient (RCC), Competition Ratio (CR), Aggressivity, and Relative Value Total (RVT). The analysis involved variance assessment, mean comparisons, and calculations of intercropping usefulness indices, all performed using R software.

https://doi.org/10.22067/agry.2024.86727.1191

Results and Discussion

In bean, the effect of inoculation was significant on plant height, number of pods per plant, number of seeds per pod, pod length, hundred seed weight, biological yield, seed yield, and harvest index and the effect of intercropping was significant on plant height, number of pods per plant, number of seeds per pod, biological yield, seed yield and harvest index and the interaction effects of two factor were significant on plant height, biological yield and seed yield. In maize, the effect of inoculation was significant on plant height, ear length and grain yield. The effect of intercropping was significant on plant height, ear length, number of grains in the ear, grain yield, biological yield and harvest index, and the interaction effects of two factors were significant on ear length and hundred-grain weightUnder both inoculated and non-inoculated conditions, the Land Equivalence Ratio (LER) exceeded one across all intercropping ratios, demonstrating the superiority of intercropping over monoculture in these systems. The highest LER and Relative Crowding Coefficient (RCC) were observed in the planting ratio of 75% bean + 25% maize under inoculated conditions, indicating that inoculation enhanced the yield of both species compared to non-inoculated conditions. In the inoculated condition, the Competition Ratio (CR) was greater than 1 for beans and less than 1 for maize across all intercropping ratios. However, under non-inoculated conditions, for the ratios of 75% bean + 25% maize and 25% bean + 75% maize, the CR was greater than 1 for maize and less than 1 for beans. This shift indicates that maize had a lower competitive ability compared to beans in inoculated conditions within the mixed cropping system. The Aggressivity index for beans was positive under inoculated conditions across all three intercropping ratios, further supporting its competitive advantage. The Relative Value Total (RVT), which combines the RVT values of beans and maize, was greater than 1 in all intercropping ratios, highlighting the economic benefits of mixed cropping compared to monocropping of either species.

Conclusion

In general, for the sustainable production of crops, the intercropping of bean and maize under inoculation with *rhizobium* bacteria can be one of the suitable solutions to reach the optimal yield performance.

Keywords: Biological nitrogen fixation, Growth promoting bacteria, Land Equivalence Ratio, Rhizobial symbiosis, Sustainable agriculture

نشریه بوم شناسی کشاورزی
Homepage: http://agry.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۱۶، شماره ٤، زمستان ۱٤۰۳، ص ٦٨١-٦٦١

ارزیابی عملکرد، اجزاء عملکرد و شاخص‌های سودمندی کشت مخلوط لوبیا (*Phaseolus vulgaris*) و ذرت (*Zea mays*) تحت تلقیح با باکتری *Rhizobium phaseoli*

ابراهیم ذوالفقاری خطبه سرا[۱]، پیمان شریفی[۲]* و محمدحسین انصاری[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۱۷
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۱/۱۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۱۹

چکیده

کشت مخلوط، به‌عنوان روشی مؤثر برای استفاده از منابع، سبب افزایش عملکرد و پایداری محصول در مقایسه با کشت خالص می‌شود. مطالعه حاضر به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتور اصلی در دو سطح (تلقیح و عدم تلقیح با باکتری) و فاکتور فرعی، نسبت کشت مخلوط ذرت (*Zea mays*)- لوبیا (*Phaseolus vulgaris*) (کشت خالص ذرت و لوبیا، نسبت‌های ۲۵ درصد لوبیا + ۷۵ درصد ذرت، ۵۰ درصد لوبیا + ۵۰ درصد ذرت و ۲۵ درصد ذرت + ۷۵ درصد لوبیا) بود. بیشترین نسبت برابری زمین (LER) و ضریب ازدحام نسبی (RCC) در نسبت ۲۵ درصد ذرت + ۷۵ درصد لوبیا در شرایط تلقیح با باکتری به‌دست آمد، که نشانگر این است که تلقیح با باکتری، سبب افزایش عملکرد هر دو گونه گیاهی در مقایسه با شرایط عدم تلقیح شد. در شرایط تلقیح با باکتری، شاخص نسبت رقابت (CR) در تمام نسبت‌های کشت مخلوط، برای لوبیا بالاتر از یک و برای ذرت کمتر از یک بود. کمتر بودن این شاخص برای ذرت نسبت به لوبیا نشان می‌دهد که در این شرایط، ذرت در کشت مخلوط، توانایی رقابت کمتری نسبت به لوبیا داشت. در شرایط تلقیح با باکتری، شاخص قابلیت تهاجم برای لوبیا مثبت بود. مجموع ارزش نسبی (RVT) برای دو گونه گیاهی، در کلیه نسبت‌های کشت مخلوط، بالاتر از یک بود که نشان‌دهنده سودمندی اقتصادی کشت مخلوط نسبت به کشت خالص دو گونه بود. در مجموع، این نتایج نشان داد که کشت مخلوط لوبیا و ذرت تحت تلقیح با باکتری *ریزوبیوم*، می‌تواند راهکاری مناسب برای دسترسی به عملکرد مطلوب باشد.

واژه‌های کلیدی: باکتری محرک رشد، تثبیت زیستی نیتروژن، کشاورزی پایدار، نسبت برابری زمین، همزیستی ریزوبیومی

مقدمه

افزایش تنوع در تولید یکی از ارکان کشاورزی پایدار محسوب می‌شود و کشت مخلوط گیاهان زراعی یکی از بهترین راه‌های افزایش تنوع در تولید به‌شمار می‌آید (Chen et al., 2022). کشت مخلوط به کشت دو و یا تعداد بیشتری محصول زراعی گفته می‌شود که با یکدیگر در یک قطعه زمین و در یک سال زراعی کشت می‌شوند، به ترتیبی که یک گیاه در بیشتر دوره رویش خود در کنار گیاه دیگر باشد (Raei et al., 2020). البته لزومی ندارد که این گیاهان با هم کاشت و برداشت شوند، بلکه می‌توان یک گیاه را همزمان یا مدتی پس از گیاه اول کشت نمود و همزمان، پیش و یا پس از آن، برداشت کرد. مهم‌ترین اهداف کشت مخلوط، افزایش تنوع، پایداری و نمود مشارکت بیش از رقابت است (Zhao et al., 2020). برخی از مزیت‌های نسبی آن نیز شامل ثبات بیشتر عملکرد، کارآیی بالاتر، استفاده بهینه از زمین و نیروی کارگری، افزایش توانایی رقابتی در مهار علف‌های هرز، بهبود وضعیت حاصل‌خیزی خاک به‌دلیل افزایش تثبیت نیتروژن حاصل از جزء بقولات و نیز استفاده

۱ و ۲- به‌ترتیب دانشجوی دکتری و دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: sharifi@iaurasht.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/agry.2024.86727.1191

بهتر از عوامل محیطی مانند نور، آب و مواد غذایی موجود در خاک است. علاوه‌براین، کشت مخلوط لگوم و غیرلگوم برای بهبود کیفیت و کمیت محصولات علوفه‌ای نیز در نظر گرفته می‌شود (Banik et al., 2006). معمولاً در کشت مخلوط با حبوبات، ذرت (*Zea mays*) به‌عنوان یک غله ترجیحی در ترکیب با لوبیا (*Phaseolus vulgaris*)، باقلا (*Vicia faba*) یا سویا (*Glycine max*) استفاده می‌شود. در مطالعات مشابه درباره کشت مخلوط حبوبات و ذرت، گبیهو و سیمانه (Gebyehu & Simane., 2006) تفاوت معنی‌دار تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن ۱۰۰ دانه و شاخص برداشت لوبیا را گزارش کردند. توسوبو و همکاران (Tsubo et al., 2001) نیز نشان دادند که کشت مخلوط لوبیا با ارقام زودرس ذرت سودمندتر بود و نسبت برابری زمین با مقادیر بیشتر از یک در آن‌ها بیشتر از بقیه ارقام بود. آن‌ها با بررسی کارآیی مصرف نور در کشت مخلوط نشان دادند که کارآیی جذب نور در کشت مخلوط بیشتر از کشت خالص بود و تجمع بیشتر ماده خشک در کشت مخلوط عمدتاً مربوط به دریافت زیادتر نور بود. کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2010) نشان دادند که بیشترین میزان تجمع ماده خشک در کشت نواری دو ردیفی ذرت و لوبیا و کمترین آن در کشت خالص به‌دست آمد،بنابراین با افزایش عرض نوار، تجمع ماده خشک به‌تدریج کاهش یافت. در تحقیق دیگری در کشت مخلوط ذرت و لوبیا نشان داده شد که بیشترین نسبت برابری کل زمین برابر با ۱/۲۴ از کشت دو ردیف لوبیا و دو ردیف ذرت به‌دست آمد (Charani et al., 2017). در آزمایش دیگری با کشت مخلوط لوبیا و ذرت نشان داده شد که ضریب تراکم نسبی کل (RCC) در تمام سیستم‌های کشت مخلوط بالاتر از یک بود که بیانگر مزیت عملکرد در کشت مخلوط بود. مقدار نسبت رقابتی (CR) لوبیا کمتر از ذرت بود که بیانگر این است که لوبیا در سیستم کشت مخلوط، توان رقابتی کمتری نسبت به ذرت داشت (Charani et al., 2018).

نیتروژن مهم‌ترین عنصر برای رشد و تولید محصول در سیستم‌های تک‌کشتی و کشت مخلوط است که یک راهکار تأمین آن، استفاده از کودهای شیمیایی حاوی نیتروژن است. امّا کاربرد بیش از حد کودهای شیمیایی، علاوه‌بر آسیب‌های زیست‌محیطی و افزایش هزینه تولید، با کشاورزی پایدار در تضاد است. ازاین‌رو، راهکار دیگر برای افزایش نیتروژن خاک، تحت مدیریت تغذیه‌ای برای تولید محصول سالم و ارزان، استفاده از باکتری‌هایی با قابلیت تثبیت بیولوژیک نیتروژن مانند باکتری‌های همزیست ریزوبیومی و غیرهمزیست (*ازوسپریلوم*، *هرباسپریلوم* و *ازتوباکتر* و .....) است (Sharma & Garg, 2018). در گیاهان خانواده لگومینوز مانند لوبیا، باقلا، سویا و نخود (*Cicer arietinum*)، باکتری‌های همزیست ریزوبیومی مستقر روی ریشه گیاه میزبان، می‌توانند نیتروژن اتمسفری را تثبیت و در اختیار گیاه قرار دهند (Sharma & Garg, 2018). در همین راستا، بقاتاچارجه و همکاران (Bhattacharjee et al., 2008) افزایش مقدار نیتروژن برگ گیاه میزبان را تا ۳۰-۴۵ میلی‌گرم، ناشی از تثبیت N_2، در گیاهچه‌های شش هفته‌ای لوبیا گزارش نموده‌اند. این گروه از باکتری‌ها علاوه‌بر قابلیت تثبیت N_2 به‌روش همزیستی، در حل کردن عناصری چون فسفر، پتاسیم و آهن شرکت می‌کنند و توانایی تولید فیتوهورمون‌ها، ویتامین‌ها و سیدروفورها را نیز دارند (Hasen & Bin-Sahid, 2016). به این ریزجانداران به‌دلیل اثرات مثبتی که در تحریک رشد گیاه دارند، ریزوباکتری‌های محرک رشد گیاه[1] گفته می‌شود (Vora et al., 2021). به همین دلایل، علاقه زیادی به توسعه استفاده از این نوع باکتری‌ها، به‌عنوان جایگزین کودهای شیمیایی یا برای کاهش مقدار استفاده از آن‌ها وجود دارد (Aguirre-Noyola et al., 2021).

در کشت مخلوط ذرت و لوبیا، این دو گیاه می‌توانند با در هم آمیختن ریشه‌های خود، محیط ریشه را برای افزایش تثبیت نیتروژن، جذب عناصر و استفاده اشتراکی از آن، بهبود بخشند (Rebollar et al., 2017; Aguirre-von-Wobeser et al., 2018; Gastélum & Rocha, 2020). همچنین با بررسی جمعیت‌های ریزوبیومی در ذرت نشان داده است که سویه *Rhizobium phaseoli* Ch24-10 به‌وفور در ذرت یافت می‌شود (Rosenblueth & Martínez-Romero, 2004). نیتروژن تأمین شده توسط گره‌های لوبیا می‌تواند در درازمدت برای ذرت، که برای رشد خود به‌مقدار زیادی از این عنصر نیاز دارد، مفید باشد. این مکمل متابولیکی بین *ریزوبیوم*، لوبیا و ذرت می‌تواند به عملکرد بالای دانه در مزرعه بینجامد (Aguilar-Jiménez et al., 2019). در تحقیقی، لوبیاهای رشد یافته در سیستم کشت مخلوط، گره‌های تثبیت‌کننده نیتروژن مشابه لوبیاهای سیستم تک‌کشتی را تشکیل دادند. بنابراین، حضور ذرت با همزیستی *ریزوبیوم* – لوبیا تداخلی نداشت (Aguirre-Noyola et al., 2021). همچنین نشان داده

1- Plant growth promoting rhizobacteria, PGPR

شده است کـه *R. etli*، کـه بـه‌طور معمـول گره‌هـای تثبیت‌کننـده نیتروژن را روی لوبیا تشکیل می‌دهد، یک اندوفیت طبیعی ذرت است (Rosenblueth & Martinez-Romero, 2004). در پـژوهش دیگـری نشـان داده شـد کـه تلقـیح چندگونـه‌ای (*R. Phaseoli*، *Sinorhizobium americanum*، *Azospirillum brasilense*، *Bacillus amyloliquefaciens* و *Methylobacterium extorquens*) تـأثیر مفیـدی بـر ذرت در مقایسه با تلقیح با فقط یک باکتری داشت (Gómez-Godínez et al., 2019). در پژوهش دیگری نیز نشان داده شد که بوته‌های ذرت تلقیح شـده بـا سـویه‌های *ریزوبیـوم* (*R. leguminosarum* bv. *Phaseoli* RRE6، *R. undicola* RRE36، *Burkholderia cepacia* (RRE5, RRE3, RRE25))، نسبت به شـاهد تلقیح نشده افزایش معنی‌داری در ارتفاع بوته، طول ریشـه، انـدام هـوایی و وزن خشک ریشه داشتند (Singh et al., 2013).

با این وجود، در خاک‌های ایران به‌علت پایین بودن حاصل‌خیزی، همزیستی ریزوبیومی بسـیار پـایین اسـت. بنـابراین، در ایـن خاک‌هـا استفاده از مایه تلقیح ریزوبیـومی ممکـن اسـت بـه افـزایش جمعیـت باکتری و تثبیت بیولوژیک نیتروژن در گیاه میزبـان (گیاهـان خـانواده لگومینوزها) کمک کند. به همـین منظـور، مطالعـه حاضـر بـا هـدف ارزیابی عملکـرد و اجـزاء عملکـرد لوبیـای محلـی گـیلان و ذرت در نسبت‌های مختلف کشت خالص و مخلوط آن‌ها تحت شـرایط تلقـیح با باکتری *R. phaseoli* و تعیین سودمندی کشت مخلوط نسبت بـه کشت خالص، انجام شد.

مواد و روش‌ها

مطالعـه حاضـر در شهرسـتان تـالش، در اسـتان گـیلان (طـول جغرافیایی ۴۸ درجه، ۳۸ دقیقه و ۳۲ ثانیه شرقی و عـرض جغرافیـایی ۳۷ درجه، ۵۰ دقیقه و ۲۰ ثانیه شمالی و با ارتفاع ۱۴۶۰ متر از سـطح دریا) به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجـام شـد، کـه در آن عامـل اصـلی تلقـیح بـا بـاکتری *R. phaseoli* در دو سـطح (تلقـیح و عـدم تلقـیح) و عامـل فرعی، نسبت کشت مخلـوط جـایگزینی ذرت - لوبیـا در پـنج سـطح (کشت خالص ذرت، کشت خالص لوبیا، ۷۵ درصـد ذرت + ۲۵ درصـد لوبیا، ۵۰ درصد ذرت + ۵۰ درصد لوبیا، ۲۵ درصـد ذرت + ۷۵ درصـد لوبیا) بود.

در این تحقیق، ذرت رقم سینگل کراس ۳۰۱ و لوبیای محلی رگه قرمز گیلان کشت شدند. ذرت رقـم سـینگل کـراس ۳۰۱ از مؤسسـه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج و توده محلی لوبیای گـیلان، از مرکز تحقیقات کشاورزی استان گیلان تهیه شدند.

قبل از انجام آزمـایش، از خـاک مزرعـه جهـت تعیـین برخـی از ویژگی‌های خـاک، نمونـه‌برداری در عمـق ۳۰-۰ سـانتی‌متر صـورت گرفت. نتایج تجزیه خاک نشان داد که pH خاک، ۶/۱۰؛ مـاده آلـی، ۰/۹۸ درصد؛ هدایت الکتریکـی، ۰/۴۷ دسـی‌زیمنس بـر متـر؛ مقـدار نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم قابل جذب به‌ترتیب ۰/۰۹ درصـد، ۱۶/۸ و ۱۱۰ پی‌پی‌ام و مقدار رس، لوم و شـن بـه‌ترتیب ۱۱/۶، ۳۶ و ۵۲/۴ درصد بود.

جهت تهیه بستر کشت، شخم نسبتاً عمیقی در اویل بهار زده شـد و پس از آن، زمین دیسک زده شد و پیش از اجـرای آزمـایش، خـاک مزرعه تسطیح گردید. هر بلوک شامل ۱۰ کرت بود، کـه فاصـله هـر بلوک از بلوک دیگر، دو متر بود. فاصلـه بـین ردیف‌هـای کاشـت ۵۰ سانتی‌متر؛ فاصلـه بوتـه‌های روی ردیـف کاشـت بـه‌ترتیب ۴۰ و ۲۰ سانتی‌متر برای ذرت و لوبیا و تراکم کاشت ۵۰۰۰۰ (ذرت) و ۱۰۰۰۰۰ (لوبیا) بوته در هکتار بود. زمین محل آزمایش در سال قبل، آیش بـود و در پاییز سال پیش، شخم زده شـده بـود. در فـروردین، معـادل ۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره (۴۶ درصد نیتروژن) و ۷۰ کیلـوگرم در هکتـار فسفر به‌صورت سوپر فسفات تریپل روی زمین پاشیده شد و به‌وسـیله دیسک با خاک مخلوط گردید. نصف دیگر کود اوره (۵۰ کیلـوگرم در هکتار) به‌صورت سرک و در مرحله ۷–۸ برگی ذرت به‌صـورت سـرک در مزرعه توزیع شد.

کشت بذور ذرت و لوبیا در تاریخ ۱ خرداد سـال ۱۴۰۱ به‌صـورت همزمان انجام شد. برداشت لوبیا در اواخـر مـرداد و برداشـت ذرت در اواسط شهریور انجام شد.

برای تیمار باکتری، مایه تلقـیح بـاکتری *ریزوبیـوم فـازئولی* (*R. phaseoli*) از بخش میکروبیولوژی خاک، مرکز تحقیقات خاک و آب کشور تهیه شد، که هر گرم از مایه تلقیح، حاوی 10^7 سـلول بـاکتری بود. برای تلقیح با باکتری پیش از کاشت، ابتدا بذرها به صـمغ عربـی آغشته شدند و سپس به‌ازاء هر کیلوگرم بذر، ۱۰ گرم مایـه تلقـیح بـه آن‌ها اضافه شد. پس از گذشت نیم ساعت و خشـک کـردن بـذرهای تلقیح شده در سایه، عملیات کاشت انجام شد.

یادداشت‌برداری صفات از خطـوط میـانی بـه جهـت کـاهش اثـر

حاشیه در مراحل مختلف رشد انجام شد. برای اندازه‌گیری صفات در لوبیا، در هر کرت، تعداد ۱۰ بوته به‌طور تصادفی انتخاب شد و ارتفاع بوته در آن‌ها اندازه‌گیری گردید، همچنین تعداد غلاف‌های آن‌ها نیز شمارش شدند. تعداد دانه، طول و عرض دانه نیز در این غلاف‌ها شمارش شدند. از میانگین این صفات در تجزیه‌ها استفاده گردید. در هنگام رسیدگی کامل، از یک مترمربع در هر کرت برداشت انجام شد و عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک توزین و برمبنای کیلوگرم در هکتار محاسبه گردید. از دانه‌های رسیده برداشت شده، تعداد ۱۰ نمونه ۱۰۰ تایی با استفاده از ترازویی با دقت ۰/۰۱ گرمی وزن و پس از میانگین‌گیری، وزن ۱۰۰ دانه محاسبه شد. از تقسیم عملکرد دانه بر عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت محاسبه شد. در ذرت در مرحله رسیدگی، تعداد ۱۰ بوته به‌صورت تصادفی در هر کرت انتخاب شد و صفات ارتفاع بوته، تعداد برگ در بوته، تعداد بلال در بوته، طول بلال، تعداد ردیف در بلال و تعداد دانه در بلال در هر بوته اندازه‌گیری شد و سپس میانگین آن ثبت گردید. در هنگام رسیدگی، از یک مترمربع در هر کرت، بوته‌های ذرت برداشت شدند و صفات عملکرد دانه و وزن ۱۰۰ دانه توزین شدند. همچنین پس از خشک کردن نمونه‌ها در آون و در دمای ۴۸ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۷۲ ساعت، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت در آن‌ها اندازه‌گیری شد.

برای ارزیابی سودمندی کشت مخلوط از مشخصه‌های زیر استفاده شد:

نسبت برابری زمین[1] (LER): برای تعیین این شاخص، عملکرد نسبی هر جزء (معادله‌های ۱ و ۲) محاسبه و از مجموع آن‌ها میزان LER (معادله ۳) محاسبه شد (Alexander & Genter, 1962).

$$LER_b = \frac{Y_b}{Y_{sb}} \qquad \text{(1)}$$

معادله (۱)

که در آن، LER_b: نسبت برابری زمین جزئی برای لوبیا، Y_b: عملکرد لوبیا در کشت مخلوط و Y_{sb}: عملکرد لوبیا در کشت خالص است.

$$LER_m = \frac{Y_m}{Y_{sm}} \qquad \text{(2)}$$

معادله (۲)

که در آن، LER_m: نسبت برابری زمین جزئی برای ذرت، Y_m: عملکرد ذرت در کشت مخلوط و Y_{sm}: عملکرد ذرت در کشت خالص است. نسبت برابری زمین در دو گونه کشت شده از طریق معادله زیر محاسبه شد:

$$LER = \frac{Y_b}{Y_{sb}} + \frac{Y_m}{Y_{sm}} \qquad \text{(3)}$$

معادله (۳)

ضریب ازدحام نسبی[2] (RCC): برای محاسبه این شاخص که بیان‌کننده میزان رقابت بین لوبیا (b) و ذرت (m) است، ابتدا با استفاده از معادله‌های ۴ و ۵، ضریب ازدحام نسبی هر یک از دو گونه محاسبه شد و سپس ضریب ازدحام نسبی کل (معادله ۶) به‌دست آمد (Banik et al., 2006):

$$k_{bean} = \frac{Y_{bm} \times Z_{mb}}{(Y_{bb} - Y_{bm})Z_{bm}} \qquad \text{(4)}$$

معادله (۴)

که در آن، k_{bean}: ضریب ازدحام نسبی گونه b (لوبیا)، Y_{bm}: عملکرد گونه b (لوبیا) در زراعت مخلوط، Y_{bb}: عملکرد گونه b (لوبیا) در کشت خالص، Z_{bm}: نسبت مخلوط گونه b (لوبیا) و Z_{mb}: نسبت مخلوط گونه m (ذرت) است.

$$k_{maize} = \frac{Y_{mb} \times Z_{bm}}{(Y_{mm} - Y_{mb})Z_{mb}} \qquad \text{(5)}$$

معادله (۵)

که در آن، k_m: ضریب ازدحام نسبی گونه m (ذرت)، Y_{mb}: عملکرد گونه m (ذرت) در زراعت مخلوط، Y_{mm}: عملکرد گونه m (ذرت) در کشت خالص، Z_{bm}: نسبت مخلوط گونه b (لوبیا) و Z_{mb}: نسبت مخلوط گونه m (ذرت) است.

$$RCC = k_{maize} \times k_{bean} \qquad \text{(6)}$$

معادله (۶)

ضریب ازدحام نسبی (RCC)، از حاصل‌ضرب ضریب ازدحام نسبی دو گونه محاسبه شد. اگر این شاخص بزرگ‌تر از یک باشد، بیانگر سودمند بودن زراعت مخلوط است و اگر مساوی با یک باشد، نشان می‌دهد که در کشت مخلوط نسبت به سامانه تک‌کشتی، هیچ‌گونه کاهش یا افزایش محصول اتفاق نمی‌افتد و نشان‌دهنده برقراری تعادل یا موازنه در کشت مخلوط است. همچنین اگر این شاخص کمتر از یک باشد، بیانگر این است که میزان محصول به‌دست آمده از زراعت مخلوط کمتر از محصول تک‌کشتی است (Banik et al., 2006).

1- Land equivalence ratio,

2- Relative crowding coefficient

شاخص نسبت رقابت[1] (CR): این شاخص نشان‌دهنده نسبت مقادیر LER جزئی هرکدام از دو گونه گیاهی است و با معادله‌های ۷ و ۸ برای هرکدام از دو گونه در کشت مخلوط محاسبه می‌شود (Dhima et al., 2007):

$$CR_{maize}=(LER_{maize}/LER_{bean})(Z_{bm}/Z_{mb}) \qquad \text{معادله (۶)}$$

$$CR_{bean}=(LER_{bean}/LER_{maize})(Z_{mb}/Z_{bm}) \qquad \text{معادله (۷)}$$

قابلیت تهاجم[2]: شاخص قابلیت تهاجم که شاخص غالبیت نیز نامیده می‌شود، برای گونه لوبیا به‌صورت زیر محاسبه شد (McGilchrist, 1965):

معادله (۸)

$$A_b=[Y_{bm}/(Y_{bb}\times Z_{bm})]-[Y_{mb}/(Y_{mm}\times Z_{mb})]$$

که در آن، Y_{bm}: عملکرد گونه لوبیا در مخلوط با گونه ذرت، Y_{bb}: عملکرد گونه لوبیا در کشت خالص، Y_{mb}: عملکرد گونه ذرت در مخلوط با گونه لوبیا، Y_{mm}: عملکرد گونه ذرت در کشت خالص، Z_{bm}: نسبت مخلوط گونه لوبیا و Z_{mb}: نسبت مخلوط گونه ذرت است.

اگر، $A_b=0$، هیچ رقابتی بین دو گونه وجود ندارد، اگر $A_b > 0$، گونه لوبیا در رقابت با گونه ذرت، غالب است، و اگر $A_a<0$، گونه لوبیا در رقابت با گونه ذرت، مغلوب است.

برای گونه ذرت نیز این شاخص به‌صورت زیر محاسبه شد:

معادله (۹)

$$A_m=[Y_{mb}/(Y_{mm}\times Z_{mb})]-[Y_{bm}/(Y_{bb}\times Z_{bm})]$$

که در آن، Y_{mb}: عملکرد گونه ذرت در مخلوط با گونه لوبیا، Y_{mm}: عملکرد گونه ذرت در کشت خالص، Y_{bm}: عملکرد گونه لوبیا در مخلوط با گونه ذرت، Y_{bb}: عملکرد گونه لوبیا در کشت خالص، Z_{bm}: نسبت مخلوط گونه لوبیا و Z_{mb}: نسبت مخلوط گونه ذرت است.

مجموع ارزش نسبی[3] (RVT): مجموع ارزش نسبی به‌عنوان شاخص سودمندی اقتصادی برای ذرت و لوبیا با استفاده از معادله‌های ۱۰ و ۱۱ برآورد شد (Vandermeer, 1990)

$$RVT_m=\frac{(P_m\times Y_{mb})+(P_b\times Y_{bm})}{P_m\times Y_{mm}} \qquad \text{معادله (۱۰)}$$

$$RVT_m=\frac{(P_m\times Y_{mb})+(P_b\times Y_{bm})}{P_b\times Y_{bb}} \qquad \text{معادله (۱۱)}$$

که در آن، Pm و Pb: به‌ترتیب قیمت دانه ذرت و لوبیا برحسب ریال است.

تجزیه واریانس داده‌ها با نرم‌افزار R و براساس آزمایش کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی و مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت. شاخص‌های سودمندی کشت مخلوط با بسته intercropping.pe در نرم‌افزار R محاسبه شدند.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌های صفات لوبیا

اثر اصلی تلقیح باکتری بر ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، طول غلاف، وزن ۱۰۰ دانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و شاخص برداشت و اثر اصلی کشت مخلوط بر ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه معنی‌دار بود. ضمن آن که برهم‌کنش باکتری در کشت مخلوط بر ارتفاع بوته، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه لوبیا معنی‌دار بود (جدول ۱). با توجه به نتایج تجزیه واریانس، مقایسه میانگین اثر اصلی باکتری برای صفات تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، طول غلاف، وزن ۱۰۰ دانه و شاخص برداشت انجام شد. همچنین اثر اصلی نسبت کشت مخلوط بر تعداد غلاف در بوته ارزیابی شد. برای صفات ارتفاع گیاه، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه که برهم‌کنش دو فاکتور معنی‌دار شده بود، اثر ساده نسبت کشت مخلوط در هر سطح باکتری ارزیابی شد.

مقایسه میانگین اثر اصلی تلقیح باکتری نشان داد که بیشترین تعداد غلاف در بوته (۲۳/۸۳)، تعداد دانه در غلاف (۷/۰۸)، طول غلاف (۱۹/۸۳ سانتی‌متر) و وزن ۱۰۰ دانه (۵۱/۸۳ گرم)، تحت تلقیح با باکتری به‌دست آمد (جدول ۲). میزان شاخص برداشت در شرایط عدم تلقیح با باکتری بیشتر از شرایط تلقیح با باکتری بود. شاخص برداشت، آن بخشی از عملکرد بیولوژیک است که عملکرد اقتصادی را تشکیل می‌دهد و معیاری برای نشان دادن درصد انتقال مواد فتوسنتزی از منبع به مخزن است (Koocheki et al., 2010).

1- Competition ratio
2- Aggressivity
3- Relative value total

جدول ۱- تجزیه واریانس برخی از صفات لوبیا تحت تلقیح باکتری و نسبت‌های کشت مخلوط

Table 1- Analysis of variance for some of bean traits under Inoculation with bacteria and intercropping ratios

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares (MS)							
		ارتفاع بوته Plant Height	تعداد غلاف در بوته No. of pods per plant	تعداد دانه در غلاف No. of seeds per pod	طول غلاف Pod lenght	وزن صددانه Hundred seed weight	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Seed yield	شاخص برداشت Harvest Index
تکرار Replication	2	0.54ns	0.12ns	0.54ns	1.79ns	3.16ns	858776ns	5706ns	10.75ns
تلقیح Inoculation	1	876**	145*	37.50*	260.04**	40.04*	40820400**	547526**	53.10*
تلقیح × تکرار (خطای a) Inoculation × replication (Error a)	2	1.79	1.54	0.87	2.04	1.16	177682	26194	0.95
کشت مخلوط Intercrropng	3	30.15*	25.0**	0.44ns	2.15ns	7.82ns	86165600**	3231873**	0.74ns
تلقیح × کشت مخلوط ×Inoculation intercrropng	3	21.37*	1.15ns	1.05ns	0.93ns	1.04ns	3966319*	69526*	16.62ns
خطا Error	12	5.22	2.05	1.04	1.58	7.22	835034	18346	6.53
ضریب تغییرات C.V (%)	-	4.12	6.70	18.01	7.60	5.31	11.97	9.12	12.81

ns، ** و *: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد و معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد

ns, ** and *: non-significant, significant at 1% probability level and significant at 5% probability level, respectively

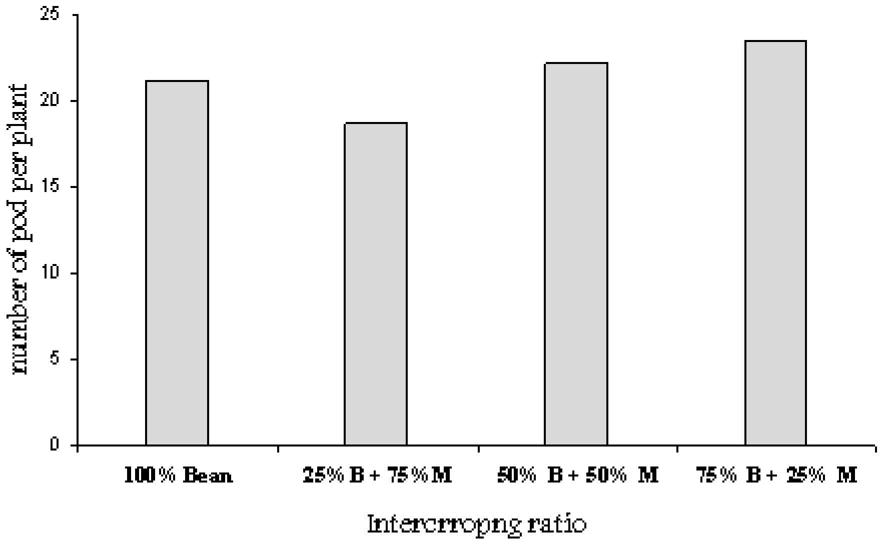
کاهش شاخص برداشت در شرایط تلقیح با باکتری در مقایسه با شرایط بدون تلقیح، می‌تواند ناشی از آن باشد که تلقیح بذر لوبیا با باکتری، سبب تحریک تولید هورمون‌های رشد گیاهی شده است و در نتیجه، گیاه برای ساخت هورمون، مقداری از انرژی خود را مصرف کرده است. همچنین بخشی از فرآیندهای متابولیکی گیاهی صرف رشد شده است و مانع از انتقال مواد به بذر لوبیا نسبت به شاهد بدون تلقیح شده است و در نتیجه، شاخص برداشت لوبیا در شرایط تلقیح با باکتری نسبت به شرایط بدون تلقیح کمتر بود. البته در ارتباط با شاخص برداشت باید به این نکته نیز توجه شود که شاخص برداشت بالاتر که در شرایط بدون تلقیح مشاهده شد، زمانی مناسب است که گیاه از لحاظ عملکرد اقتصادی و عملکرد بیولوژیک به پتانسیل ژنتیکی خود رسیده باشد و سهم عمده‌ای از عملکرد بیولوژیک مربوط به عملکرد اقتصادی گیاه باشد (Koocheki et al., 2010).

مقایسه میانگین اثر اصلی کشت مخلوط بر تعداد غلاف در بوته نشان داد که کمترین تعداد غلاف در بوته در نسبت کشت ۷۵ درصد ذرت + ۲۵ درصد لوبیا (۱۸/۶۷) به‌دست آمد (شکل ۱). تعداد غلاف در گیاه از مهم‌ترین ویژگی‌های تعیین‌کننده عملکرد لوبیا و حساس‌ترین جزء عملکردی آن است (Gebyehu & Simane., 2006). در نسبت کشت مخلوط ۷۵ درصد ذرت + ۲۵ درصد لوبیا، کاهش تعداد غلاف در گیاه که خود ناشی از کاهش تعداد گل‌های بارور حاصل از افزایش رقابت بین‌گونه‌ای در کشت مخلوط لوبیا و ذرت است، می‌تواند کاهش عملکرد لوبیا را در پی داشته باشد. سایه‌اندازی ذرت هم می‌تواند باعث کاهش تعداد غلاف و تعداد دانه لوبیا شده باشد (Koocheki et al., 2010). در ارتباط با تأثیر کشت مخلوط بر تعداد دانه در غلاف و تعداد غلاف در بوته، پیروزی و همکاران (Piroozi et al., 2014) نیز نتایج مشابهی با پژوهش حاضر گرفتند.

جدول ۲- اثر تیمارهای تلقیح و عدم تلقیح با باکتری بر برخی از صفات لوبیا

Table 2– Effect of Inoculation and non-inoculation with bacteria on some of bean traits

باکتری Bacteria	تعداد غلاف در بوته No. of pods per plant	تعداد دانه در غلاف No. of seeds per pod	طول غلاف Pod lenght (cm)	وزن ۱۰۰ دانه Hundred seed weight (g)	شاخص برداشت Harvest index (%)
عدم تلقیح Non-inoculation	18.91	4.41	13.25	49.25	21.45
تلقیح Inoculation	23.83	6.91	19.83	51.83	18.47
حداقل اختلاف معنی‌دار (۵٪) LSD (5%)	1.27	0.91	1.12	2.39	2.27



شکل ۱- تعداد غلاف در بوته لوبیا در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط

Fig. 1- Number of pods per plants of bean under the difference intercrroping ratio
LSD(5%)= 1.81

در هر دو شرایط تلقیح و عدم تلقیح با باکتری، بیشترین ارتفاع بوته، به‌ترتیب با مقادیر برابر با ۶۵/۳۳ و ۵۱/۳۳ سانتی‌متر از نسبت کشت مخلوط ۲۵ درصد ذرت + ۷۵ درصد لوبیا به‌دست آمد (جدول ۳). نتایج نسبت‌های کشت متناظر در دو شرایط تلقیح و عدم تلقیح با باکتری نشان داد که ارتفاع بوته لوبیا در تمامی نسبت‌های کشت خالص و مخلوط در شرایط تلقیح بیشتر از شرایط عدم تلقیح بود. افزایش ارتفاع بوته در تیمارهای تلقیح با باکتری می‌تواند به تولید و ترشح ترکیبات تحریک‌کننده رشد گیاه و یا برخی هورمون‌های تنظیم‌کننده رشد از جمله سیتوکنین نسبت داده شود (Gastélum & Rocha, 2020). دلیل دیگر افزایش ارتفاع بوته در این نسبت کشت مخلوط، می‌تواند ناشی از سایه‌اندازی ذرت روی لوبیا، عدم تعادل نسبت نور قرمز با نور قرمز دور و رقابت نوری بین بوته‌ها باشد (Dahmardeh & Keshtegar, 2014). در ارتباط با برتری ارتفاع بوته در کشت دیم، اردلانی و همکاران (Ardalani et al., 2014) اظهار داشتند که ارقام پابلند به‌واسطه وزن خشک بیشتر، سهم و انتقال مجدد بیشتری در پر کردن دانه نسبت به ارقام پاکوتاه دارند، بنابراین با توجه به انجام آزمایش حاضر به‌صورت دیم، داشتن ارتفاع بوته بیشتر، یک مزیت به حساب می‌آید. با توجه به ماهیت کشت مخلوط جایگزینی که در آن تراکم گیاه در کشت خالص نسبت به کشت مخلوط بیشتر است، در هر دو شرایط تلقیح و بدون تلقیح،

بیشترین عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه در شـرایط کشـت خـالص لوبیا به‌دست آمد که انتظـار چنـین نتیجـه‌ای در سیسـتم‌های کشـت مخلوط وجود دارد. ازاین‌رو در این سیستم‌ها، نتـایج عملکـرد دانـه بـا استفاده از شاخص‌های سودمندی کشـت مخلـوط ارزیـابی می‌شـوند. افزایش عملکرد لوبیا در کشت خـالص نسـبت بـه تیمارهـای کشـت مخلوط می‌تواند به‌دلیل عدم رقابت برون‌گونه‌ای لوبیا درکشت خالص بر سر جذب نور باشد که این امر باعث افزایش جـذب نـور بـه‌وسیله تاج‌پوشش لوبیا و در نتیجه، بهبود فتوسنتز شده و در نهایت، افـزایش عملکرد اقتصادی لوبیا را به دنبال خواهد داشت. با بررسی اثـر کشـت مخلوط ذرت و لوبیا بر عملکرد دانه بیان شده است کـه در تیمارهـای کشت مخلوط به‌دلیل افزایش رقابت ذرت با لوبیا بر سـر جـذب نـور، عملکرد لوبیا می‌تواند به‌میزان زیادی کـاهش یابـد (Latati et al., 2013).

جدول ۳- مقایسه میانگین‌های برخی از صفات لوبیا در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط در شرایط تلقیح و عدم تلقیح با باکتری

Table 3- Mean comparison of some of bean traits under the difference intercrroping ratio in Inoculation and Non-inoculation with bacteria

باکتری Bacteria	نسبت کشت مخلوط Intercrropng ratio (B:bean -M:maize)	ارتفاع بوته Plant height (cm)	عملکرد بیولوژیک Biological yield (kg.ha^{-1})	عملکرد دانه Seed yield (kg.ha^{-1})
عدم تلقیح Non-inoculation	۱۰۰٪ لوبیا 100% bean	50.66	9100.0	2093.3
	۲۵٪ لوبیا + ۷۵٪ ذرت 25% B + 75% M	51.33	2308.3	512.0
	۵۰٪ لوبیا + ۵۰٪ ذرت 50% B + 50% M	47.66	5433.3	1130.0
	۷۵٪ لوبیا + ۲۵٪ ذرت 75% B + 25% M	48	8475.0	1602.7
حداقل اختلاف معنی‌دار (۵٪) LSD (5%)		3.53	1175.3	68.9
تلقیح Inoculation	۱۰۰٪ لوبیا 100% bean	58.67	14066.7	2363.3
	۲۵٪ لوبیا + ۷۵٪ ذرت 25% B + 75% M	65.33	3616.7	655.3
	۵۰٪ لوبیا + ۵۰٪ ذرت 50% B + 50% M	64	7266.7	1310.0
	۷۵٪ لوبیا + ۲۵٪ ذرت 75% B + 25% M	58.00	10800.0	2217.7
حداقل اختلاف معنی‌دار (۵٪) LSD (5%)		5.4	2298.9	37.64

افزایش نسبت ذرت به لوبیا در کشت مخلوط به کاهش عملکـرد بیولوژیـک لوبیـا در کشـت مخلـوط منجـر شـد و بیشـترین عملکـرد بیولوژیک در کشت خالص و کمترین آن در نسبت کشـت ۷۵ درصـد ذرت + ۲۵ درصد لوبیا در کشت مخلوط به‌دست آمد، که ایـن نتیجـه بـا نتـایج محققـان دیگـر انطبـاق دارد (Rostami et al., 2011 ; Fotohi-Chianeh et al., 2012). همانند عملکرد دانـه، بـه‌دلیل وجود رقابت بین‌گونه‌ای در نسبت‌های بالاتر ذرت، تمامی منابع موجود در اختیار لوبیا قرار نگرفته است و بنابراین، رقابت بر سر منابع دسترس (آب، نور، مواد غذایی و فضا) می‌تواند یکی از علـل کـاهش عملکـرد بیولوژیک لوبیا در کشت مخلوط باشد.

تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌های صفات ذرت

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشـان داد کـه اثـر اصـلی تلقـیح باکتری بر صفات ارتفاع بوته، طول بـلال و عملکـرد دانـه و نیـز اثـر اصلی کشت مخلوط بر ارتفاع بوته، طول بلال، تعـداد دانـه در بـلال، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت معنی‌دار بود.

جدول ٤- تجزیه واریانس برخی از صفات ذرت تحت تلقیح باکتری و نسبت‌های کشت مخلوط

Table 4- Analysis of variance for some of maize traits under Inoculation with bacteria and intercropping ratios.

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares (MS)								
		ارتفاع بوته Plant height	تعداد برگ در بوته No. of leave per ear	طول بلال Ear lenght	تعداد بلال در بوته No. of ear per plant	تعداد دانه در بلال No. of grain per ear	وزن ۱۰۰ دانه Hundred grain weight	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Grain yield	شاخص برداشت Harvest Index
تکرار Replication	2	12.54ns	1.79ns	0.04ns	0.04ns	553.62ns	2.00ns	1583516ns	31094ns	0.94ns
تلقیح Inoculation	1	1980.16*	5.04ns	117*	0.66ns	112.66ns	12.04ns	1733438ns	380772*	1.81ns
باکتری × تکرار (خطای a) Inoculation × replicaton	2	28.04	0.79	3.79	0.29	385.29	1.16	292109	53887	2.74
کشت مخلوط Intercrropng	3	769.22**	0.48ns	22.48**	0.27ns	3489.38*	0.26ns	657712882**	18820099**	9.00*
تلقیح × کشت مخلوط Inoculation × intercrropng	3	179.38ns	0.15ns	17.59**	0.33ns	2066.11ns	3.93*	1149549 ns	94682ns	1.90ns
خطا Error	12	108.34	1.90	0.91	0.38	676.79	0.97	2458403	39035	2.04
ضریب تغییرات C.V (%)		5.94	13.40	4.98	25.80	4.11	9.98	7.89	5.55	7.82

ns، ** و *: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد و معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد

ns, ** and *: non-significant, significant at 1% probability level and significant at 5% probability level, respectively

علاوه‌براین، برهم‌کنش دو عامل بر طول بـلال و وزن ۱۰۰ دانـه ذرت معنی‌دار بود (جدول ۴). بنابراین، برای دو صـفت طـول بـلال و وزن ۱۰۰ دانه، اثر ساده نسبت کشت مخلوط در هر سـطح بـاکتری و برای سایر صفات، اثرات اصلی ارزیابی شدند.

مقایسه میانگین صفات در شرایط تلقیح و عدم تلقیح بـا بـاکتری نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته (۱۸۴/۲۵ سانتی‌متر) و عملکرد دانـه (۳۶۸۰/۳ گرم در مترمربع) در شرایط تلقیح بـا بـاکتری به‌دسـت آمـد (جدول ۵). به نظر می‌رسد که اسـتفاده از بـاکتری در کشـت مخلـوط به‌دلیل ایجاد تغییرات غیرمستقیم در ریخت‌شناسی گونه همراه، باعث رشد مناسب‌تر گیاه و در نتیجه، افزایش ارتفاع بوته و عملکرد دانـه در آن‌ها شده باشد (Jose´-Miguel et al., 2005). با توجه به اینکه ذرت یک گیاه نیتروژن‌دوست است، به نظر می‌رسد که لوبیا از طریق تثبیت بیولوژیکی نیتروژن، باعث فراهمی بهتر این عنصر غذایی بـرای ذرت شده است و به‌طور غیرمستقیم سبب بهبـود عملکـرد دانـه ذرت شده باشد. در تطابق با نتیجه پژوهش حاضر مبنی بر افزایش عملکرد دانه در شرایط تلقیح با باکتری در مقایسه با شرایط عدم تلقیـح، دبـاغ محمدی نسب و همکاران (Dabbagh Mohammadi-Nassab et al., 2015) با بررسی سودمندی کشـت مخلـوط ذرت و لوبیـا بـه همراه کاربرد کودهای شیمیایی و زیستی به ایـن نتیجـه رسـیدند کـه استفاده از کود زیستی به‌جای کود شیمیایی، سـبب افـزایش مجمـوع عملکرد نسبی و نسبت برابری زمین می‌شود. این نتیجه بیانگر افزایش کارآیی کشت مخلوط ذرت: لوبیا در صورت استفاد از کودهای زیسـتی است. پژوهشگران دیگری نیز نشان دادنـد کـه تلقـیح بـا *ازتوباکتر*، قابلیت جذب نیتروژن و فسفر را به بالاترین حد خود رسـاند و میـزان محصول ذرت نیز به‌میزان قابـل تـوجهی افـزایش یافـت (Fatemi Devin et al., 2020). با توجه به بالا بودن نیـاز کـودی ذرت بـه نیتروژن، جذب نیتروژن اثر مستقیمی بر عملکرد ذرت دارد و از سـوی دیگر، با توجه به ویژگی تثبیت‌کنندگی نیتروژن توسط لوبیا، عملکـرد بیشتر ذرت در شرایط تلقیح ناشـی از همزیسـتی میکروباکتری‌هـا در گرهک‌های تثبیت‌کننده‌ی لوبیا اسـت (Aguirre-Noyola et al., 2021).

جدول ۵- اثر تیمارهای تلقیح و عدم تلقیح با باکتری بر برخی از صفات ذرت

Table 5– Effect of Inoculation and Non-inoculation with bacteria on some of maize traits

باکتری Bacteria	ارتفاع بوته Plant height (cm)	عملکرد دانه Grain yield (kg.ha^{-1})
عدم تلقیح Non-inoculation	166.08	3428.3
تلقیح Inoculation	184.25	3680.3
حداقل اختلاف معنی‌دار (۵٪) LSD (5%)	9.25	175.7

مقایسه میانگین برخـی از صـفات ذرت در نسـبت‌هـای مختلـف کشت مخلوط نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته (۱۹۰/۳۳ سانتی‌متـر) در نسبت کشت مخلوط ۲۵ درصد ذرت + ۷۵ درصد لوبیا به‌دست آمد (جدول ۶). این نتایج همچنین نشان داد که بیشـترین تعـداد دانـه در بلال در نسبت کشت ۲۵ درصد ذرت + ۷۵ درصد لوبیا به‌دسـت آمـد، که با کشت خالص اختلاف معنی‌داری نداشت؛ با افزایش سـهم ذرت در کشت مخلوط، تعداد دانه در بلال کاهش یافت. ازآنجاکه در نسبت کشت ۲۵ درصد ذرت + ۷۵ درصد لوبیا، تراکم ذرت در واحـد سـطح کم‌تر بود، به نظر می‌رسد که رقابت درون گونه‌ای کـاهش یافتـه و در نتیجه، فضای بیشتری برای رشد و گسترش بوته‌های ذرت فراهم شده است، که این عامل باعث گرده‌افشانی مطلوب بوته‌های ذرت شـده و در اثر آن، تعداد دانه در بلال افزایش یافـت (Chen et al., 2022). به بیانی دیگر، هم‌جواری گیاه C_3 (لوبیا) با گیاه C_4 (ذرت)، به‌ویـژه در تراکم کمتر ذرت، نه‌تنها باعث تشدید رقابت نشده است، بلکه با ایجاد سازوکار همکاری، سودمندی کل زراعت مخلوط، از جمله تعـداد دانـه در بـلال نیـز افـزایش یافتـه اسـت. نصـرالله‌زاده اصـل و طـالبی

(Nasrollahzadeh Asl et al., 2016) نیز با بررسی تأثیر نسبت ذرت در کشت مخلوط بر تعداد دانه در بلال، نتیجه مشابهی گزارش کردند. کاهش تعداد دانه در بلال در نسبت‌های بالاتر ذرت در کشت مخلوط می‌تواند ناشی از کاهش نفوذ نور به داخل تاج‌پوشش با افزایش تراکم ذرت، محدودیت دریافت تشعشع توسط برگ‌ها و افزایش رقابت بین‌گونه‌ای باشد، که در نهایت، به کاهش تعداد دانه در بلال می‌انجامد (Gastélum & Rocha, 2020). با توجه به تعداد بیشتر بوته‌های ذرت در کشت خالص انتظار به‌دست آمدن عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک بیشتر در کشت خالص ذرت و پس از آن، نسبت ۷۵ درصد ذرت + ۲۵ درصد لوبیا وجود داشت، که عملاً چنین نتیجه‌ای نیز دیده شد (جدول ۶). نتایج به‌دست آمده در ارتباط با به‌دست آمدن بیشترین عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه ذرت در کشت خالص و میزان کمتر این صفات در نسبت‌های کشت مخلوط، با نتایج برخی از محققان هماهنگ است (Fotohi-Chianeh et al., 2012; Charani et al., 2017). چنین به نظر می‌رسد که بالاتر بودن عملکرد بیولوژیک در کشت خالص ذرت نسبت به کشت های مخلوط به‌دلیل تراکم بالای ذرت باشد، بنابراین در یک سیستم کشت مخلوط، تراکم ذرت بیشتر از تراکم گیاه همراه، تعیین‌کننده عملکرد است، به‌طوری‌که گیاهان همراه با ذرت، توان رقابت برای نور و دیگر منابع مصرفی را ندارند، بنابراین عملکرد ذرت به ساختار و تاج‌پوشش خود وابسته است (Nachigera et al., 2008). همانند تحقیق حاضر، در پژوهشی رضایی چیانه و همکاران (Rezaei-Chianeh et al., 2011)، کاهش عملکرد بیولوژیک ذرت را در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص مشاهده کردند، که علت آن را ناشی از رقابت نوری بین اجزاء عملکرد در کشت مخلوط گزارش کردند. مقایسه میانگین شاخص برداشت نشان داد که مقدار این شاخص در کشت خالص کمتر از نسبت‌های کشت مخلوط بود (جدول ۶). بالاتر بودن شاخص برداشت ذرت در نسبت‌های کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص می‌تواند ناشی از این باشد که با توجه به نیتروژن‌دوست بودن ذرت، لوبیا با تثبیت بیولوژیکی این عنصر باعث فراهمی بهتر آن برای ذرت شده و منجر به بهبود شاخص برداشت ذرت در نسبت‌های کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص آن گردید (Rostami et al., 2011; Koocheki et al., 2010; Fotohi-Chianeh et al., 2012).

جدول ٦- مقایسه میانگین‌های برخی از صفات ذرت در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط

Table 6- Mean comparison of some of maize traits under the difference intercrroping ratio

نسبت کشت مخلوط **Intercrropng ratio (B:bean - M:maize)**	ارتفاع بوته **Plant height (cm)**	طول بلال **Ear lenght (cm)**	تعداد دانه در بلال **No. of grain per ear**	عملکرد بیولوژیک **Biological yield (kg.ha^{-1})**	عملکرد دانه **Grain yield (kg.ha^{-1})**	شاخص برداشت **Harvest Index (%)**
۷۵٪ لوبیا + ۲۵٪ ذرت 75% B + 25% M	190.33	21.67	654.83	7600.0	1507.2	19.85
۵۰٪ لوبیا + ۵۰٪ ذرت 50% B + 50% M	177	19.83	617.67	16233.3	2796.7	17.31
۲۵٪ لوبیا + ۷۵٪ ذرت 25% B + 75% M	168.5	17.50	606.83	23425.0	4360.0	18.66
۱۰۰٪ ذرت 100% maize	164.83	17.83	651.67	32216.7	5553.3	17.30
حداقل اختلاف معنی‌دار (۵٪) LSD (5%)	13.09	1.20	32.73	1972.4	248.5	1.79

اثر ساده کشت مخلوط در هر سطح تلقیح و عدم تلقیح با باکتری برای صفات طول بلال و وزن ۱۰۰ دانه ارزیابی شد (جدول ۷). نتایج نشان داد که در شرایط عدم تلقیح، اختلاف معنی‌داری از نظر طول بلال بین سطوح مختلف کشت مخلوط وجود نداشت، حال آن‌که در شرایط تلقیح با باکتری، بیشترین طول بلال (۲۵/۶۶ سانتی‌متر) در نسبت کشت ۲۵ درصد ذرت + ۷۵ درصد لوبیا مشاهده شد و در کشت خالص ذرت، طول بلال نسبت به سایر نسبت‌های کشت مخلوط کمتر بود. به نظر می‌رسد که تلقیح با باکتری از طریق تأثیر مثبتی که

بر لوبیا در این نسبت کشت مخلوط گذاشته است، با تـأمین برخـی از نیازهای گونه همراه، توانسته است به‌طور غیرمستقیم، طـول بـلال را در ذرت بهبود ببخشد (Vora et al., 2021). در شـرایط تلقـیح بـا باکتری، بین سطوح مختلف کشت مخلوط تفاوت معنـی‌داری از نظـر وزن ۱۰۰ دانه ذرت وجود نداشت، امّا در شرایط عدم تلقیح، بیشـترین وزن ۱۰۰ دانه در شرایط کشت خالص (۱۰/۰۰ گرم) به‌دست آمـد. در تمام نسبت‌های کشت خالص متناظر، وزن ۱۰۰ دانه در شرایط تلقـیح بالاتر از شرایط عدم تلقیح بود. به نظر می‌رسد که رشد مناسب‌تر گیاه ذرت در شرایط استفاده از باکتری در کشـت مخلـوط، باعـث افـزایش وزن ۱۰۰ دانه شده باشد (Jose´-Miguel et al., 2005).

جدول ۷- مقایسه میانگین‌های برخی از صفات ذرت در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط در شرایط تلقیح و عدم تلقیح با باکتری

Table 7- Mean comparison of some of maize traits under the difference intercrroping ratio in Inoculation and Non-inoculation with bacteria

باکتری Bacteria	نسبت کشت مخلوط Intercrropng ratio (B:bean -M:maize)	طول بلال Ear lenght (cm)	وزن ۱۰۰ دانه 100-grain weight (g)
عدم تلقیح Non-inoculation	۷۵٪ لوبیا + ۲۵٪ ذرت 75% B + 25% M	17.66	9.66
	۵۰٪ لوبیا + ۵۰٪ ذرت 50% B + 50% M	16.66	8.66
	۲۵٪ لوبیا + ۷۵٪ ذرت 25% B + 75% M	16.00	8.33
	۱۰۰٪ ذرت 100% maize	17.66	10
حداقل اختلاف معنی‌دار (۵٪) LSD (5%)		1.73	1.59
تلقیح Inoculation	۷۵٪ لوبیا + ۲۵٪ ذرت 75% B + 25% M	25.66	10.66
	۵۰٪ لوبیا + ۵۰٪ ذرت 50% B + 50% M	23.00	11
	۲۵٪ لوبیا + ۷۵٪ ذرت 25%B + 75% M	19.00	11.33
	۱۰۰٪ ذرت 100% maize	18.00	9.33
حداقل اختلاف معنی‌دار (۵٪) LSD (5%)		2.07	2.28

شاخص‌های سودمندی کشت مخلوط

نسبت برابری زمین

در هر دو شرایط تلقیح و عدم تلقیح بـا بـاکتری، نسـبت برابـری زمین (LER) در همه نسبت‌های کشت مخلوط، بیشـتر از یـک بـود (جدول ۸) که نشان‌دهنده برتری کشـت مخلـوط نسـبت بـه سیسـتم تک‌کشتی در این الگوهای کشـت اسـت (Dhima et al., 2007). شاخص LER، نسبت برابری زمین براساس سـطح زمـین زیرکشـت است و به‌وسیله آن مشخص می‌شود که برای به‌دسـت آوردن مقـدار محصولی از یک واحد کشت مخلوط، چـه مقـدار از زمـین به‌صـورت زراعت تک‌کشتی مورد نیاز است، تا همان میـزان محصـول برداشـت شود. مجموع عملکرد نسـبی[1] (RYT)، نیـز بـا همـان رابطـه LER برآورد می‌شود. در هر دو شرایط تلقیح و عدم تلقیح، بیشـترین نسـبت برابری زمین جزئی برای لوبیا مربـوط بـه نسـبت کشـت مخلـوط ۲۵ درصد ذرت + ۷۵ درصد لوبیا بود، که در شرایط عدم تلقیح، این نسبت برابر با ۰/۷۷ و در شرایط تلقیح با باکتری برابر با ۰/۹۴ بود. بیشـترین LER (۱/۲۱) در نسبت کشت مخلوط ۲۵ درصـد ذرت + ۷۵ درصـد لوبیا، در شرایط تلقیح با باکتری به‌دست آمد که نسبت به شرایط بدون

1- Relative yield total

تلقیح با باکتری (۱/۰۴) بیشتر بود (جدول ۸)، که نشانگر این است که تلقیح با باکتری، سبب افزایش عملکرد هر دو گونه گیاهی در مقایسه با شرایط عدم تلقیح شده است. ازآنجاکه LER =۱ بیانگر یکسان بودن محصول زراعت‌های تک‌کشتی و مخلوط است و مقادیر ۱ ≥ LER و ۱ ≤ LER، به‌ترتیب نشان‌دهنده سودمندی و عدم سودمندی کشت مخلوط است (Sarlak & Aghaalikhani, 2009)، در هر دو شرایط تلقیح و عدم تلقیح، در تمام نسبت‌های کشت مخلوط، سودمندی کشت مخلوط نسبت به کشت خالص مشاهده شد. در تطابق با نتایج تحقیق حاضر، پژوهشگران دیگری نیز LER بیشتر از یک را در کشت مخلوط ذرت و لوبیا گزارش کردند (Farahvash et al., 2012; Fatemi Moradi et al., 2016; Devin et al., 202; 0). دلیل این سودمندی نسبی می‌تواند ناشی از وجود اختلافات ریخت‌شناختی در دو گونه و بهره‌برداری بهینه از منابع باشد. همچنین به‌علت تراکم مطلوب گیاهی در این نسبت کشت و استفاده بهتر از منابع محیطی، این دو گیاه توانسته‌اند با کارآیی بیشتری از منابع محیطی بهره ببرند. بالا بودن LER، به‌ویژه در تیمارهای تلقیح را می‌توان به تثبیت و جذب نیتروژن توسط لوبیا در کشت مخلوط نسبت داد (Vora et al., 2021). همچنین در این راستا اظهار شده است که کشت مخلوط بقولات همراه با سایر گیاهان می‌تواند سبب انتقال نیتروژن تثبیت شده توسط بقولات در خاک به گیاه همراه در کشت مخلوط شود و در نتیجه، منجر به افزایش محصول گیاه همراه گردد (Banik et al., 2006). میزان بالاتر LER در شرایط تلقیح با باکتری می‌تواند به‌دلیل بهبود شرایط محیطی مناسب‌تر کشت مخلوط به‌دلیل مزایای کشت لوبیای تلقیح شده با باکتری در این نوع سیستم کاشت باشد.

ضریب ازدحام نسبی

بیشترین سودمندی کشت مخلوط براساس شاخص ضریب ازدحام نسبی، در نسبت ۲۵ درصد ذرت + ۷۵ درصد لوبیا با مقدار ۵/۶۲ (ضریب ازدحام نسبی برای لوبیا و ذرت به‌ترتیب برابر با ۵/۰۷ و ۱/۱۱) در شرایط تلقیح با باکتری به‌دست آمد (جدول ۸). این شاخص، میزان رقابت بین دو گونه را مشخص می‌کند که به‌روش جایگزینی با یکدیگر مخلوط شده‌اند. همچنین بیشترین مقدار ضریب ازدحام نسبی در شرایط عدم تلقیح در نسبت ۷۵ درصد ذرت + ۲۵ درصد لوبیا با مقدار ۱/۵۱ (ضریب ازدحام نسبی برای لوبیا و ذرت به‌ترتیب برابر با ۱/۵۵ و ۰/۹۷) مشاهده شد (جدول ۸). چنانچه ضریب ازدحام نسبی برای هر دو گونه برابر با واحد باشد، بیانگر برقراری تعادل یا موازنه در کشت مخلوط است؛ امّا اگر ضریب ازدحام نسبی برای هر گونه برابر با واحد نباشد، گیاه با ضریب بیشتر، گیاه غالب خواهد بود (Sarlak & Aghaalikhani, 2009).

از مقایسه این ضریب در شرایط تلقیح و عدم تلقیح با باکتری چنین برمی‌آید که در شرایط عدم تلقیح با باکتری، در دو نسبت ۷۵ درصد ذرت + ۲۵ درصد لوبیا و ۲۵ درصد ذرت + ۷۵ درصد لوبیا، ضریب ازدحام نسبی ذرت، بیشتر از ضریب ازدحام نسبی لوبیا بود. در نسبت ۵۰ درصد ذرت + ۵۰ درصد لوبیا در شرایط عدم تلقیح و تمام نسبت‌ها در شرایط تلقیح با باکتری، ضریب ازدحام نسبی برای ذرت در مقایسه با لوبیا کمتر بود، که نشان می‌دهد در این نسبت‌های کشت، عامل رقابت در مورد گیاه ذرت با شدت بیشتری اعمال شده است. در شرایط عدم تلقیح (به‌ویژه در دو نسبت کشت ۷۵ درصد ذرت + ۲۵ درصد لوبیا و ۲۵ درصد ذرت + ۷۵ درصد لوبیا)، ذرت از توان رقابتی بالاتری برخودار بود؛ حال آنکه در شرایط تلقیح با باکتری، مقدار این شاخص در لوبیا به مراتب بیشتر بود. این یافته می‌تواند به نقش تلقیح باکتری در تثبیت نیتروژن در لوبیا نسبت داده شود. بنابر نتایج به‌دست آمده از پژوهش حاضر، بالاتر از یک بودن این ضریب در تمامی نسبت‌های کشت مخلوط در هر دو شرایط تلقیح و عدم تلقیح، بیانگر سودمند بودن زراعت مخلوط بود. با توجه به نتایج ضریب ازدحام نسبی (RCC) می‌توان نتیجه گرفت که کشت مخلوط نسبت به کشت خالص در هر دو شرایط تلقیح و عدم تلقیح سودمندی داشت.

پوشش سریع خاک و در نتیجه، کاهش تبخیر ناشی از رشد شتابان و پوشش گیاهی گسترده‌تر بقولات (Khan et al., 2005) می‌تواند منجر به افزایش کارآیی استفاده از آب و در نتیجه، بهبود عملکرد گیاه ذرت در شرایط عدم تلقیح گردد. افزون بر آن، افزایش نفوذ تابش به درون پوشش گیاهی در کشت مخلوط و بهره‌گیری از نیتروژن آلی تثبیت شده در خاک نیز می‌تواند عامل مؤثر دیگری در افزایش عملکرد گونه‌های همراه با بقولات در کشت مخلوط به‌شمار آید. در ارتباط با برتری کشت مخلوط نسبت به سامانه تک‌کشتی، اختلاف ارتفاع و تفاوت دوره رویش دو گونه گیاهی از علل اصلی برتری کشت مخلوط نسبت به سامانه تک‌کشتی عنوان شده است (Raei et al., 2020). در همین راستا، می‌توان جداسازی آشیان‌های اکولوژیک در

جذب منابع و برقراری سازوکار کاهش رقابت را به‌عنوان توجیهی علمی برای سودمندی کشت مخلوط ذرت و لوبیا نسبت به سامانه تک‌کشتی آن‌ها ارائه کرد (Singh et al., 2013).

شاخص نسبت رقابت (CR)

در شرایط تلقیح با باکتری، شاخص نسبت رقابت (CR) در تمام نسبت‌های کشت، برای لوبیا بالاتر از یک و برای ذرت کمتر از یک بود. حال آنکه در شرایط تلقیح برای دو نسبت کشت ۷۵ درصد ذرت + ۲۵ درصد لوبیا و ۲۵ درصد ذرت + ۷۵ درصد لوبیا، این شاخص در ذرت بیشتر از یک و در لوبیا کمتر از یک بود. بیشترین میزان این شاخص (۱/۱۶) مربوط به لوبیا بود که در نسبت کشت ۲۵ درصد ذرت + ۷۵ درصد لوبیا و در شرایط تلقیح با باکتری به‌دست آمد (جدول ۸). کمتر بودن این شاخص برای ذرت نسبت به لوبیا نشان می‌دهد که در شرایط تلقیح با باکتری، ذرت در سامانه کشت مخلوط نسبت به لوبیا، توانایی رقابت کمتری داشت؛ حال آنکه در شرایط عدم تلقیح، به‌ویژه در دو نسبت کشت نسبت کشت ۷۵ درصد ذرت + ۲۵ درصد لوبیا و ۲۵ درصد ذرت + ۷۵ درصد لوبیا، این شاخص در ذرت بیشتر از لوبیا بود. این نتیجه، گویای نقش برجسته تلقیح با باکتری در یک سیستم کشت مخلوط است. بر طبق نظر وایلی و رائو (Willey & Rao, 1980)، CR معیار مناسب‌تری برای اندازه‌گیری قابلیت رقابت گیاه را فراهم می‌آورد و می‌تواند در مقایسه با RCC شاخص بهتری باشد. در زراعت مخلوط، سودمندی زمانی به‌دست می‌آید که گیاهان تشکیل‌دهنده مخلوط از نظر نحوه رشد و میزان جذب عوامل مؤثر در رشد (نور، آب و عناصر غذایی) با یکدیگر متفاوت باشند، زیرا در این صورت رقابت برون‌گونه‌ای کمتر از رقابت درون‌گونه‌ای می‌شود و با تقلیل رقابت، سودمندی کشت مخلوط تضمین می‌شود (Latati et al., 2013). در کشت مخلوط ذرت - لوبیا در شرایط تلقیح با باکتری، بیشتر بودن ضریب ازدحام نسبی لوبیا از ذرت (Kb>Ka)، نسبت رقابت بیش از یک (CRb>1) و غالبیت (A_b) مثبت (جدول ۸)، حاکی از توانایی رقابتی بالای لوبیا در شرایط تلقیح با باکتری و غالبیت آن در مخلوط با ذرت است. این امر به نقش تعیین‌کننده باکتری تثبیت‌کننده نیتروژن در بهبود عملکرد در لوبیا و ذرت در کشت مخلوط اشاره دارد. حال آنکه در شرایط بدون تلقیح، بر پایه این سه شاخص، ذرت گیاه غالب بود. چنین نتیجه‌ای به‌وسیله پژوهشگران دیگری هم گزارش شده است (Moradi et al., 2016). این امر با توجه به اینکه تاج‌پوشش ذرت دارای حجم و ارتفاع بیشتری در مقایسه با تاج‌پوشش لوبیا می‌باشد (Rostami et al., 2011) و می‌تواند رقیب قوی‌تری در جذب نور و سایر منابع برای لوبیا به‌شمار رود، توجیه‌پذیر است.

قابلیت تهاجم (A)

شاخص غالبیت یا قابلیت تهاجم نیز شاخص دیگری برای مشخص کردن گونه غالب در یک سیستم کشت مخلوط است. بر پایه این شاخص، در شرایط تلقیح با باکتری در هر سه نسبت کشت مخلوط، قابلیت تهاجم برای لوبیا مثبت بود، درحالی‌که در شرایط عدم تلقیح، این نسبت برای لوبیا منفی (نسبت‌های نسبت کشت ۷۵ درصد ذرت + ۲۵ درصد لوبیا و ۲۵ درصد ذرت + ۷۵ درصد لوبیا) و یا نزدیک به صفر (نسبت کشت ۵۰ درصد ذرت + ۵۰ درصد لوبیا) بود (جدول ۸). این یافته نشان می‌دهد که تلقیح با باکتری توانسته است که قدرت تهاجمی لوبیا را در یک سیستم کشت مخلوط افزایش دهد و آن را از یک گیاه مغلوب، به گیاهی غالب تبدیل کند. همانند نتایج پژوهش حاضر در شرایط عدم تلقیح، پژوهشگران دیگری نیز به غالبیت ذرت در سیستم کشت مخلوط اشاره نمودند (Rostami et al., 2011). همچنین در این راستا اشاره شده است که در اثر غالبیت ذرت در بیشتر سیستم‌های کشت مخلوط با بقولات دانه‌ای، جزء بقولات کاهش عملکرد نشان می‌دهد، ولی افزایش عملکرد ذرت، جبران کاهش فوق را می‌کند (Aguirre-Noyola et al., 2021).

مجموع ارزش نسبی (RVT)

مجموع ارزش نسبی (RVT) برای دو گونه گیاهی (جمع RVT لوبیا و ذرت) در این آزمایش، در کلیه ترکیبات کشت مخلوط، بالاتر از یک بود (جدول ۸) که نشان‌دهنده سودمندی اقتصادی کشت مخلوط نسبت به کشت خالص دو گونه است (Raei et al., 2020). بنابراین، می‌توان گفت که کشت مخلوط ذرت و لوبیا علاوه‌بر ایجاد تنوع در اکوسیستم کشاورزی و همچنین ایجاد پایداری تولید، در افزایش درآمد اقتصادی و بهره‌وری استفاده از زمین‌های کشاورزی به‌طور قابل ملاحظه‌ای سهیم می‌باشد. شاخص RVT توسط پژوهشگران دیگری نیز برای ارزیابی سودمندی کشت مخلوط استفاده شده است و نتایج شاخص‌های دیگر همچون LER را تأیید کرده است (Rezaei Chianeh et al., 2011; Hamzei & Ghamari Rahim, 2014).

جدول ۸- اثر نسبت‌های کشت مخلوط ذرت و لوبیا بر شاخص‌های سودمندی کشت مخلوط

Table 8– Effect of Intercrropng ratio on efficiency of bean-maize intercropping indices

باکتری Bacteria	نسبت کشت مخلوط *Intercrropng* ratio (B:bean -M:maize)	عملکرد دانه ذرت Maize grain yield (kg.ha^{-1})	عملکرد دانه لوبیا Bean seed yield (kg.ha^{-1})	نسبت برابری زمین ذرت LERmaize	نسبت برابری زمین لوبیا LERbean	برابری نسبت زمین Land equivalence ratio (LER)	شاخص نسبت رقابت ذرت Competition ration (CRmaize) CRa	شاخص نسبت رقابت لوبیا CRbean	ضریب ازدحام نسبی ذرت Kmaize	ضریب ازدحام نسبی لوبیا Kbean	ازدحام ضریب نسبی Relative crowding coefficient (RCC)	مجموع ارزش نسبی ذرت Relative value total (RVTmaize)	مجموع ارزش نسبی لوبیا RVTb	قابلیت تهاجم ذرت Aggressivity (A_{maize})	قابلیت تهاجم لوبیا A_{bean}
عدم تلقیح Non-inoculation	۲۵٪ لوبیا + ۷۵٪ ذرت 25%B + 75%M	4315.0	511	0.82	0.24	1.07	1.12	0.89	1.55	0.97	1.51	0.95	1.79	0.12	-0.12
	۵۰٪ لوبیا + ۵۰٪ ذرت 50% B + 50% M	2726.7	1130	0.52	0.54	1.06	0.96	1.04	1.08	1.17	1.27	0.81	1.52	-0.04	0.04
	۷۵٪ لوبیا + ۲۵٪ ذرت 75% B + 25% M	1431.7	1603	0.27	0.77	1.04	1.07	0.93	1.13	1.09	1.23	0.68	1.28	0.07	-0.07
تلقیح Inoculation	۲۵٪ لوبیا + ۷۵٪ ذرت 25% B + 75% M	4405.0	655	0.75	0.28	1.03	0.90	1.11	1.00	1.15	1.16	0.90	1.68	-0.11	0.11
	۵۰٪ لوبیا + ۵۰٪ ذرت 50% B + 50% M	2866.7	1310	0.49	0.55	1.04	0.88	1.13	0.96	1.24	1.19	0.79	1.46	-0.13	0.13
	۷۵٪ لوبیا + ۲۵٪ ذرت 75% B + 25% M	1582.5	2218	0.27	0.94	1.21	0.86	1.16	1.11	5.07	5.62	0.77	1.44	-0.17	0.17

در مطالعه حاضر، افزایش عملکرد و اجزاء آن در شرایط تلقیح با باکتری در تمام سطوح کشت خالص و مخلوط برای هر دو گونه گیاهی مشاهده شد. افزون‌براین، با شاخص‌های مختلف سودمندی کشت مخلوط نیز برتری کشت مخلوط در مقایسه با سیستم تک‌کشتی در هر دو شرایط عدم تلقیح و تلقیح با باکتری مشاهده شد، هر چند این برتری در شرایط تلقیح با باکتری نمود بیشتری یافته بود. در توجیه این نتایج، اظهار شده است که کشت مخلوط ذرت و لوبیا، سبب درهم‌آمیختن ریشه‌های آن‌ها با یکدیگر می‌شود که به تبادل میکروبی آن‌ها، از جمله روابط همزیستی مانند *ریزوبیوم‌ها*، کمک می‌کنند (Aguirre-Noyola et al., 2021). از جمله دلایل افزایش عملکرد ذرت در یک سیستم کشت مخلوط این است که با توجه به سیستم ریشه‌ای عمیق‌تر ذرت نسبت به لوبیا، ریشه‌های ذرت حجم بیشتری از خاک را برای جذب مواد مغذی و آب می‌کاوند و در نتیجه، استفاده از خاک کارآمدتر از سیستم‌های تک‌کشتی است (Aguilar-Jiménez et al., 2019). همچنین تنوع میکروبی ریزوسفر کشت‌های مخلوط بیشتر است، زیرا ترشحات ریشه به‌عنوان مواد مغذی و مواد شیمیایی جذب‌کننده عمل می‌کنند که به ریزجانداران اجازه می‌دهند تا میزبان‌های جدید را کلونیزه کنند که منجر به اشتراک عوامل میکروبی بین گیاهان، از جمله اندوفیت‌هایی مانند *ریزوبیوم* می‌شود (Mommer et al., 2016). اگرچه ذرت گره تشکیل نمی‌دهد، امّا با افزایش بیان ژن‌های ریشه حبوبات درگیر در سنتز فلاونوئیدها[1]، سیگنال‌دهی اکسین[2] و فرآیند گره‌زایی[3] ریزوبیومی و تثبیت نیتروژن در بقولات، رشد ریشه ذرت را نیز تحریک می‌کنند (Li et al., 2016). استفاده بهتر از مواد غذایی در ذرت کشت شده همراه با لوبیا (Aguirre-Noyola et al., 2021)، سویا (Nyoki & Ndakidemi, 2018) و نخود (Zhao et al., 2020) نیز مشاهده شده است.

نتیجه‌گیری

کشت مخلوط ذرت با لوبیای محلی گیلان به‌دلیل تعلق این گیاهان به دو خانواده مختلف و جنبه هم‌یاری و همزیستی مکملی موجب شد تا بهره‌برداری از واحد سطح، بیشتر از کشت خالص آن‌ها باشد. در مجموع در تحقیق حاضر، در هر دو شرایط عدم تلقیح و تلقیح با باکتری، بیشترین عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه در کشت خالص به‌دست آمد. در هر نسبت کشت مخلوط و خالص در شرایط تلقیح با باکتری، مقدار این دو صفت بالاتر از همان نسبت کشت مخلوط و خالص در شرایط عدم تلقیح بود. با توجه به تعداد بیشتر بوته‌های ذرت در کشت خالص انتظار به‌دست آمدن عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک بیشتر در کشت خالص ذرت و پس از آن نسبت ۷۵ درصد ذرت + ۲۵ درصد لوبیا وجود داشت، که چنین نتیجه‌ای نیز به‌دست آمد. تجزیه و تحلیل شاخص‌های ارزیابی سودمندی کشت مخلوط با توجه به داشتن بالاترین نسبت برابری زمین، ضریب ازدحام نسبی، شاخص نسبت رقابت ذرت و سهم عملکرد ذرت نیز این نتیجه‌گیری را تأیید کرد. در مجموع، برای تولید پایدار محصولات، کشت مخلوط ذرت با لوبیا تحت تلقیح با باکتری *ریزوبیوم*، می‌تواند یکی از راهکارهای مناسب برای دسترسی به عملکرد مطلوب باشد.

References

1. Aguilar-Jiménez, C.E., Galdámez-Gadámez, J., Martínez-Aguilar, F.B., Guevara-Hernández, F., & Vázquez-Solis, H. (2019). Eficiencia del policultivo maízfrijol-calabaza bajo manejo orgánico en la Frailesca, Chiapas, México. *RevistaCientífica Agroecosistemas*, *7*, 64–72.
2. Aguirre-Noyola, J.L., Rosenblueth, M., Santiago-Martínez, M.G., & Martínez-Romero, E. (2021). Transcriptomic responses of rhizobium phaseoli to root exudates reflect its capacity to colonize maize and common bean in an intercropping system. *Frontiers in Microbiology*, *12*, 740818. https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.740818
3. Aguirre-von-Wobeser, E., Rocha-Estrada, J., Shapiro, L.R., & de la Torre, M. (2018). Enrichment of verrucomicrobia, actinobacteria and burkholderiales drives selection of bacterial community from soil by maize

1- Flavonoids synthesis
2-Auxin signaling
3- Nodulation process

roots in a traditional milpa agroecosystem. *PLoS One*, *13*, e0208852. https://doi.org/10.1371/journal. pone.0208852
4. Alexander, M.W., & Genter, C.F. (1962). Production of corn and soybean in alternate pairs of rows. *Agronomy Journal*, *54*, 233-234.
5. Ardalani, S., Saeidi, M., Jalali-Honarmand, S., Ghobadi, M., & Abdoli, M. (2014). Evaluation of grain yield and its relationship with remobilization of dry matter in bread wheat cultivars under water deficit stress at the post anthesis. *Iranian Journal of Dryland Agronomy*, *3*(2), 173-195. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/idaj.2015.101297
6. Banik, P., Midya, A. Sarkar, B.K., & Ghose, S.S. (2006). Wheat and chickpea intercropping systems in additive series experiment: Advantages and smothering. *European Journal of Agronomy*, *24*, 324-332. https://doi.org/10.1016/j.eja.2005.10.010
7. Bhattacharjee, R.B., Singh, A., & Mukhopadhyay, S.N. (2008). Use of nitrogen-fixing bacteria as biofertilizer for non-legumes: Prospects and challenges. *Applied and Environmental Microbiology*, *80*(2), 199-209. https://doi.org/10.1007/s00253-008-1567-2
8. Charani, E., Sharifi, P., & Aminpanah, H. (2017). Evaluation of grain yield and yield components in intercropping of maize and bean. *Biharean Biologist*, *11*(1), 37-42.
9. Charani, E., Sharifi, P., & Aminpanah, H. (2018). The competitive ability of maize (*Zea mays* L.)- common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) intercrops against weeds. *Revista de la Facultad de Agronomia*, *35*, 40-62.
10. Chen, N., Li, X., Shi, H., Hu, Q., Zhang, Y., Hou, C., & Liu, Y. (2022). Modeling evapotranspiration and evaporation in corn/tomato intercropping ecosystem using a modified ERIN model considering plastic film mulching. *Agricultural Water Management*, *260*, 107286. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107286
11. Dabbagh Mohammadi-Nassab, A., Amini, R., & Tamari, E. (2015). Evaluation of maize and three cultivars of common bean intercropping with application of biofertilizers and chemical fertilizers. *Journal of Sustainable Agriculture and Production Science*, *25*, 99-113. (In Persian with English abstract).
12. Dahmardeh, M., & Keshtegar, A. (2014). Evaluation of yield and yield components of maize (*Zea mays* L.) in intercropping with peanuts (*Arachis hypogaea* L.). *Journal of Agroecology*, *6*(2), 311-323. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jag.v6i2.39371
13. Dhima, K., Lithourgidis, A., Vasilakoglou, I., & Dordas, C. (2007). Competition indices of common vetch and cereal intercrops in two seeding ratios. *Field Crops Research*, *100*(2-3), 249-256. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2006.07.008
14. Farahvash, F., Rahmati, A., Jafari, F., & Amir Hallaji, H. (2012). Effect of number of planting rows in strip intercropping of maize, pintobean and soybean and their sole cropping on seed yield. *Journal of Crop Ecophysiology*, *5*(20), 27-42. (In Persian with English abstract).
15. Fatemi Devin, R., Hosseini, S.B., Moghadam, H., & Motesharezadeh, B. (2020). Effect of organic and bio-fertilizers and additive and replacement intercropping systems on corn (*Zea mays* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.) yields. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *51*(4), 133-145. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/ijfcs.2020.286433.654634
16. Fotohi-Chianeh, S., Javanshir, A., Dabbagh Mohammadi Nassab, A., Zande, E., Razavi, F., & Rezaei-Chianeh, E. (2012). Effect of various corn (*Zea mays* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.) intercropping densities on crop yield and weed biomass. *Journal of Agroecology*, *4*(2), 131-143. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jag.v4i2.14966
17. Gastélum, G., & Rocha, J. (2020). Milpas as a model for studying microbiodiversity and plant-microbe interactions. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, *23*, 1–13. https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2020.0.254
18. Gebyehu, S., & Simane, B. (2006). Genotype × cropping systems interaction in climbing bean (*Phaseolus vulgaris* L.) grown as sole crop and in association with maize (*Zea mays* L.). *European Journal of Agronomy*, *24*, 396-403. https://doi.org/10.1016/j.eja.2006.01.005
19. Gómez-Godínez, L.J., Fernandez-Valverde, S.L., Martínez Romero, J.C., & Martínez-Romero, E. (2019). Metatranscriptomics and nitrogen fixation from the rhizoplane of maize plantlets inoculated with a group of PGPRs. *Systematic and Applied Microbiology*, *42*, 517–525. https://doi.org/10.1016/j.syapm.2019.05.003
20. Hamzei, J., & Ghamari Rahim, N. (2014). Evaluation of corn-soybean intercropping advantages using agronomic and weed control efficiency indices. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *24*(3), 61-74. (In

Persian with English abstract)
21. Hassan, M., & Bin Sahid, I. (2016). Evaluation of rhizobium inoculation in combination with phosphorus and nitrogen fertilization on groundnut growth and yield. *Journal of Agronomy*, *15*(3), 142-146. https://doi.org/10.3923/ja.2016.142.146
22. Jose´-Miguel, B., Mar ´a, J.P., Rosario, A., & Concepcio´n, A. (2005). Microbial co-operation in the rhizosphere. *Journal of Experimental Botany*, *56*(417), 1761-78. https://doi.org/10.1093/jxb/eri197
23. Khan, M., Khan, R.U., Wahab, A., & Rashid, A. (2005). Yield and yield components of wheat as influenced by intercropping of chickpea, lentil and rapeseed in different proportions. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, *42*, 1-3.
24. Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Feizi, H., Amirmoradi, S., & Mondani, F. (2010). Effect of strip intercropping of maize (*Zea mays* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.) on yield and land equivalent ratio in weedy and weed free conditions. *Journal of Agroecology*, *2*(2), 225-235. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jag.v2i2.7627
25. Latati, M., Pansu, M., Drevon, J.J., & Ounane, S.M. (2013). Advantage of intercropping maize (*Zea mays* L.) and common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) on yield and nitrogen uptake in Northeast Algeria. *International Journal of Research in Applied Sciences*, *1*, 1–7.
26. Li, B., Li, Y.Y., Wu, H.M., Zhang, F.F., Li, C.J., & Li, X.X. (2016). Root exudates drive interspecific facilitation by enhancing nodulation and N_2 fixation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *113*, 6496–6501. https://doi.org/10.1073/pnas. 1523580113
27. McGilchrist, C.A. (1965). Analysis of competition experiments. *Biometrics*, *21*, 975–985. https://doi.org/10.2307/2528258
28. Mommer, L., Kirkegaard, J., & van Ruijven, J. (2016). Root–root interactions: Towards a rhizosphere framework. *Trends Plant Science*, *21*, 209–217. https://doi.org/10.1016/j.tplants.2016.01.009
29. Moradi, P., Asghari, J., Mohsen Abadi, G., & Samiezadeh, H. (2016). Evaluation of the beneficial effects of triple intercropping of maize (*Zea mays* L.), pinto been (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Crop Production and Processing*, *6*(19), 177-189. (In Persian with English abstract). URL: http://jcpp.iut.ac.ir/article-1-2521-fa.html"
30. Nachigera, G.M., Ledent, J.F., & Draye, X. (2008). Shoot and root competition in potato/maize intercropping: Effects on growth and yield. *Environmental and Experimenttal Botany*, *64*(2), 180-188. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2008.05.008
31. Nasrollahzadeh Asl, A., & Talebi, M. (2016). Evaluation of sunflower (*Heliantus annus* L.) and corn (*Zea mays* L.) intercropping based on replacement method in Khoy region. *Journal of Crop Ecophysiology*, *8*(27), 204-215. (In Persian with English abstract).
32. Nyoki, D., & Ndakidemi, P.A. (2018). Root length, nodulation and biological nitrogen fixation of rhizobium inoculated soybean (*Glycine max* [L.] Merr.) grown under maize (*Zea mays* L.) intercropping systems and P and K fertilization. *Advances in Bioresearch*, *9*, 173–180. https://doi.org/10.1080/00103624.2018.1455846
33. Piroozi, B., Hosseini, S.M.B., Mazaheri, D., & Heidari, H. (2014). Evaluation of sowing time and intercropping on vegetative and reproductive traits of bean (*Phaseolus vulgaris*) and biological yield of forage maize (*Zea mays*) *Agronomy Journal (Pajouhesh and Sazandegi)*, *104*, 62-68. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/AJ.2014.101646
34. Raei, Y., Ahmadabad, M.S., Ghassemi-Golezani, K., & Ghassemi, S. (2020). Pinto bean and black mustard responses to bio-fertilizers under intercropping system. *Advances in Horticultural Science*, *34*(2), 175-182. https://doi.org/10.13128/ahsc-7407.
35. Rebollar, E.A., Sandoval-Castellanos, E., Roessler, K., Gaut, B.S., Alcaraz, L.D., & Benítez, M. (2017). Seasonal changes in a maize-based polyculture of central Mexico reshape the co-occurrence networks of soil bacterial communities. *Frontiers in Microbiology*, *8*, 2478. https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02478
36. Rezaei-Chianeh, E., Dabbagh Mohammadi Nassab, A., Shakiba, M.R., Ghassemi-Golezani, K., & Aharizad, S. (2011). Intercropping of maize (*Zea mays* L.) and faba bean (*Vicia faba* L.) at different plant population densities. *African Journal of Agricultural Research*, *7*, 1786-1793.
37. Rosenblueth, M., & Martínez-Romero, E. (2004). Rhizobium etli maize populations and their competitiveness for root colonization. *Archives of Microbiology*, *181*, 337–344. https://doi.org/10.1007/s00203-004-0661-9
38. Rostami, L., Koocheki, A., & Nassiri Mahallati, M. (2011). The effect of different crop plant densities on radiation

absorption and use efficiency by corn (*Zea mays* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.) intercropped canopy. *Journal of Agroecology*, *3*(3), 290-297. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jag.v3i3.13554

39. Sarlak, Sh., & Aghaalikhani, M. (2009). Effect of pant dnsity and mxing rtio on cop yeld in sweet corn (*Zea mays* L. var Saccharata) and mngbean (*Vigna radiata* L.) intercropping. *Iranian Journal of Crop Sciences*, *11*(4), 367-380. (In Persian with English abstract). URL: http://agrobreedjournal.ir/article-1-197-en.html
40. Sharma, K., & Garg, V.K. (2018). Comparative analysis of vermicompost quality produced from rice straw and paper waste employing earthworm Eisenia fetida (Sav.). *Bioresource Technology*, *250*, 708–715. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.11.101
41. Singh, R.K., Malik, N., & Singh, S. (2013). Impact of rhizobial inoculation and nitrogen utilization in plant growth promotion of maize (*Zea mays* L.). *Nusantara Bioscience*, *5*, 8-14. https://doi.org/10.13057/nusbiosci/n050102
42. Tsubo, M., Walker, S., & Mukhala, E. (2001). Comparisons of radiation use efficiency of mono-/inter-cropping systems with different row orientations. *Field Crops Research*, *71*, 17-29. https://doi.org/10.1016/S0378-4290(01)00142-3
43. Vandermeer, J. (1990). *Intercropping. In Agroecology*, Mc Graw – Hill publishing Co.
44. Vora, S.M., Joshi, P., Belwalkar, M., & Archana, G. (2021). Root exudates influence chemotaxis and colonization of diverse plant growth promoting rhizobacteria in the pigeon pea–maize intercropping system. *Rhizosphere, 18*, 100331. https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2021.100331
45. Willey, R.W., & Rao, M.R. (1980). A competitive ratio for quantifying competition between intercrops. *Experimental Agriculture, 16*(2), 117–125.
46. Zhao, C., Fan, Z., Coulter, J.A., Yin, W., Hu, F., & Yu, A. (2020). High maize density alleviates the inhibitory effect of soil nitrogen on intercropped pea. *Agronomy, 10*, 248. https://doi.org/10.3390/agronomy10020248